

УДК 519.9:618.32

## Методические и программно-технологические средства оценки и анализа сезонной динамики доз внутреннего облучения жителей населенных пунктов

В. А. Короткевич, Л. И. Короткевич, А. Н. Осипенко, Н. Б. Осипенко, П. Н. Стрибук

### Введение

За 18 лет после аварии на ЧАЭС накоплен огромный статистический материал о содержании радионуклидов во всех компонентах пищевой цепи и в человеке. В то же время, корректный и согласованный анализ этих данных с целью выявления более тонких (в сравнении с общепринятыми оценками средних значений) закономерностей динамики радиологических параметров еще не проводился. Следует отметить, что задача выявления «переносимых» на другие посткатастрофные ситуации закономерностей динамики радиационных показателей значительно сложнее простого «фотографирования» постчернобыльской картины. В частности, она требует построения комплекса динамических многофакторных уравнений дозоформирования, дифференцированных в зависимости от экологических и социальных характеристик населенных пунктов [1].

### 1. Методические подходы к оценке и анализу сезонной динамики доз внутреннего облучения жителей населенных пунктов

Решение задач мониторинга и реконструкции доз внутреннего облучения жителей (ДВО) в значительной степени зависит от выбранной методологии статистического анализа и обобщения результатов. В частности, корректное определение объекта статистического накопления поможет упростить анализ и прояснить картину дозоформирования в различных населенных пунктах региона. Например, в Гомельской области около 3000 населенных пунктов. Более чем в половине из них информация о ДВО и объясняющих факторах носит случайно-фрагментарный характер. В особенности это касается малых (менее 100 жителей) сельских населенных пунктов, по которым, если и имеется минимально допустимый для статистического оценивания объем выборки, то только за несколько лет. В то же время, жители этих населенных пунктов не могут быть исключены из сферы дозиметрического мониторинга. С целью разрешения этой проблемы авторами была разработана методика систематизации населенных пунктов, позволяющая обеспечить определенный уровень однородности процессов дозоформирования в каждом классе за счет основных дозообразующих продуктов (молока и «даров природы»). В качестве классификационных признаков населенного пункта на этапе систематизации выбраны [1,2]: доля коров в населенном пункте, приходящихся на одного жителя; доля площади леса в трехкилометровом радиусе с учетом увлажненности почв; среднее содержание  $^{137}\text{Cs}$  в молоке частного сектора населенного пункта за последние 5 лет; отношение средней арифметической СИЧ-оценки годовой ДВО к медианной оценке по выборке СИЧ-измерений за последние 5 лет (последний признак отражает структуру распределения ДВО жителей в виде отношения коллективных доз категории любителей дозообразующих продуктов и категории жителей с умеренным и малым их потреблением).

С помощью авторской программы классификации [3] населенные пункты, представленные в виде точек многомерного пространства признаков (по четырем перечисленным выше признакам), разбиваются на классы таким образом, чтобы в один класс попали по возможности наиболее похожие по этим признакам, а в разные классы – значимо различающиеся между собой. При этом программа классификации предоставляет эксперту возможность

самостоятельно удалять из класса отдельные населенные пункты (в первую очередь речь идет о детально известных реперных поселениях) в случае обнаружения в одном классе значимо различных с его точки зрения населенных пунктов. Далее осуществляется переклассификация с участием эксперта до тех пор, пока не будет обеспечена однородность классов как по выделенным признакам, так и по мнению эксперта о сходстве и различии реперных населенных пунктов по дополнительным качественным аспектам приобретения и потребления жителями дозообразующих продуктов.

Теоретически и практически (при наличии полноценной статистической выборки) распределение ДВО жителей населенного пункта есть смесь соответствующих распределений первой категории жителей (левая составляющая – малоупотребляющие или неупотребляющие дозообразующие продукты), второй (средняя составляющая – умеренно употребляющие, в основном молоко) и третьей (правая составляющая – любители дозообразующих продуктов, в особенности «даров природы»). Статистическое накопление измерений по группе населенных пунктов чревато эффектом «переобобщения» из-за размазывания путем наложения левых, средних и правых составляющих распределений разных населенных пунктов. В итоге получается классическое логнормальное распределение, однако при этом «с водой выплескивается ребенок»: теряется информация о соотношении составляющих смеси (на основании которой можно выйти на анализ закономерностей дозоформирования и выработку адресных рекомендаций). Во избежание «переобобщения» при формировании объединенной выборки необходимо предварительно воспользоваться механизмами фокусировки исходных распределений доз в группе поселений.

Первым таким механизмом является описанная выше систематизация населенных пунктов. При этом сужение диапазона вариации центра второй составляющей распределения в основном обеспечивает локализация значений содержания  $^{137}\text{Cs}$  в молоке и доли коров на одного жителя, фокусировку отношения центров третьей и двух первых составляющих распределения преимущественно определяет локализация значений отношения средней ДВО к медиане, а частичную фиксацию весовых вкладов трех составляющих в распределение доз объясняет локализация всех четырех классификационных признаков.

Вторым механизмом фокусировки, усиливающим эффект от систематизации, является нормировка дозовых значений на медиану распределения доз в населенном пункте по данным СИЧ-измерений за длительное время. Достоинство этого механизма состоит в том, что он позволяет сначала провести статистически полноценное расщепление распределения нормированных доз на три составляющие (по объединенной выборке измерений во всех населенных пунктах класса), а затем путем денормировки (умножения на медиану) перенести обобщенное по классу распределение на конкретное поселение.

Анализ формирования ДВО в регионе нельзя считать полноценным, если не выяснена природа динамики доз по годам и сезонам с учетом динамики содержания радионуклидов в продуктах питания и объемов их потребления. До сих пор подобный углубленный анализ удавалось провести только по крупным городам благодаря наличию достаточного количества СИЧ-измерений по каждому сезону. Используя описанные выше два механизма фокусировки, появляется возможность провести такой анализ применительно к сельским населенным пунктам. Сгруппировав в одном классе не менее 15-20 населенных пунктов, мы можем с помощью программы расщепления смеси достоверно оценить посезонные медианы ДВО и стандартные геометрические отклонения по каждой из трех категорий жителей. Кроме того, группировка населенных пунктов дает возможность привлечь параллельно и данные о содержании  $^{137}\text{Cs}$  в молоке коров частного и/или общественного сектора с целью построения достоверного тренда активности молока.

## 2. Описание алгоритма программы расщепления смеси при построении модели динамики ДВО жителей населенного пункта

Программа расщепления смеси рассчитана на случай бимодальности распределения.

Бимодальность, как правило, возникает тогда, когда не была обеспечена однородность выборки и информация бралась для объектов из разных классов (т.е. в качественно разных состояниях). При обнаружении бимодальности необходимо провести расщепление смеси с тем, чтобы получить теоретические параметры составляющих смеси. Расщепление в программе осуществляется в зависимости от вида смеси: а) не разнесенная смесь двух выборок с близкими математическими ожиданиями и сильно различающимися дисперсиями; б) разнесенная смесь двух выборок с сильно различающимися математическими ожиданиями (именно этот тип смешивания соответствует задаче анализа ДВО, правда, при этом чаще приходится иметь дело с трехмодальными распределениями). Для каждого из видов смешивания алгоритмы различаются, но расщеплению предшествует проверка гипотезы о наличии смешивания, которая проверяется с помощью квантильного анализа на основе данных «ядерной» аппроксимации – варианта сплайн-аппроксимации (случай наличия не разнесенной смеси практически невозможно обнаружить при использовании гистограммы и полигона частот). При проведении квантильного анализа также рассчитываются верхние и нижние значения параметров смеси (математические ожидания и среднеквадратичные отклонения обоих компонент). Далее для не разнесенной смеси при каждом значении доли первой компоненты от 0.1 до 0.9 генерируются в найденных пределах значения параметров, и вычисляется значение критерия, в качестве которого выступает сумма модулей отклонений значений эмпирической интегральной функции распределения от функции распределения со сгенерированными параметрами. Находится наименьшее значение критерия. Для разнесенной смеси находится предполагаемая «впадина». Рассматриваются две части выборки – до «впадины» и после. Для каждой из этих частей с помощью нормальной вероятностной бумаги оцениваются центр и разброс. В качестве доли первой компоненты берется доля точек в первой части по отношению к общему объему выборки. Далее осуществляется вариация параметров смеси в сторону их увеличения и уменьшения до тех пор, пока уменьшается значение критерия. При этом рассчитывается значение критерия для всех комбинаций найденных вариаций центров и разбросов первой и второй компонент смеси двух выборок. Находится минимальное значение критерия. Проверяется гипотеза о соответствии исходных данных найденному закону распределения.

### **3. Методика построения модели динамики доз внутреннего облучения жителей с помощью программы расщепления смеси распределений**

1. По каждому населенному пункту класса исходные значения ДВО за многолетний период времени нормируются на свою медиану и пересылаются в объединенную выборку нормированных дозовых значений класса.

2. Дозовые значения группируются по годам и сезонам. К первому сезону относится время с января по апрель, ко второму – май и июнь, к третьему – с июля по сентябрь, к четвертому – с октября по декабрь.

3. Реализуется программа расщепления распределения доз класса по каждому сезону на две разнесенные составляющие (второй вариант расщепления) в шкале логарифмов. При этом на экране монитора на фоне кривой «ядерной» аппроксимации в качестве результата высвечивается теоретическая кривая бимодальной смеси. Параллельно с этим просматривается таблица с итоговыми параметрами составляющих смеси: математическими ожиданиями, стандартными отклонениями и весами.

4. В результате визуального просмотра кривой «ядерной» аппроксимации сначала выделяются характерные впадины и изгибы, по которым определяются точки стыковки трех компонентов смеси (соответствующие трем категориям жителей), а затем в отдельную таблицу заносятся оценочные значения параметров каждого из трех распределений смеси. Сама оценка проводится вручную путем сравнительного визуального анализа трех компонент, при этом в существенной степени используются параметры предварительного бимодального расщепления.

5. Визуализируются тренды компонент распределения нормированных доз в нормальной шкале (верхняя часть рисунка) и тренды весов (нижняя часть рисунка). При этом наряду с трендами медиан распределений на рисунке изображаются их нижние и верхние границы.

6. Визуализируется тренд распределения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в молоке частного сектора в масштабе, удобном для сравнения с соответствующими трендами доз и динамикой весов компонент смеси.

#### 4. Результаты построения моделей динамики доз внутреннего облучения жителей по трем классам населенных пунктов

С целью апробации разработанной методики и программного обеспечения по данным Гомельского филиала НИКИ РМ и Э за 1995-1999гг. были выделены два класса населенных пунктов, по которым в базе данных одновременно были СИЧ-измерения и активности молока частного сектора.

**Класс 1.** Большая часть этого класса представлена населенными пунктами Наровлянского района. Для этого класса характерна высокое среднее значение активности молока частного сектора (96 Бк/л), наличие грибных лесов и традиционное потребление молока (одна корова на пять жителей). Сезонная цикличность активности молока отражается в первую очередь на весах компонент распределения. Так, наибольшая активность молока достигается в летние месяцы. На это же время приходится рост веса второй компоненты и соответствующее снижение веса третьей. В свою очередь, в осенний и зимний сезоны заметно преобладает вклад потребляющих «дары природы». Что же касается динамики непосредственно ДВО, то практически всегда сезону локального максимума доз предшествует сезон локального максимума активности молока. При этом локальные максимумы доз приходятся на осенний сезон – период перекрытия «молочного» и «лесного» вкладов.

**Класс 2.** Большая часть этого класса представлена населенными пунктами Лельчицкого района. Для этого класса характерны: наиболее высокое влияние леса, несколько меньшая в сравнении с первым классом средняя активность молока частного сектора (62 Бк/л). Сезонная цикличность активности молока здесь практически не выражена (за исключением 1995г.), хотя небольшие локальные подъемы отмечаются в 1996-1998гг. Объясняется это, прежде всего сезонной однородностью корма коров, так как и пастбища, и сенокосы здесь приходятся на лес и неудобья. Анализируя тренды весов второй и третьей компонент, обнаружилось, что отмеченная выше закономерность смены их лидерства сохраняется и здесь, но уже не так ярко выражена. Отметим, что в населенных пунктах этого класса грибов заготавливают столько, что их всегда хватает до следующего грибного сезона. Поэтому высокие значения «лесной» третьей компоненты дозового тренда чаще приходятся на зимние месяцы.

#### Заключение

Использованные при оценке и анализе динамики ДВО методические и программно-технологические средства позволили выйти на более глубокий уровень объяснения природы дозоформирования. На примере двух классов населенных пунктов на базе Наровлянского и Лельчицкого районов практически впервые удалось проследить динамику конкуренции вклада в дозу молочного и лесного факторов. Одновременно с этим прояснилась эффективность контрмер молочного направления в первом классе в сравнении со вторым. В первую очередь это касается снижения содержания  $^{137}\text{Cs}$  в сене частного сектора. Судя по высоким вкладом в дозу лесной составляющей, вложение финансовых средств в перезалужение пастбищ частного сектора в населенных пунктах «наровлянского» класса не приведет к значимому снижению суммарной дозы. Предложенный аппарат реконструкции и анализа динамики ДВО по экспериментальным данным требует дальнейшего развития. Прежде всего, это касается его совмещения с аппаратом расчетного моделирования.

**Abstract.** The problem of exposure of radiation factors dynamic appropriateness is decided. For this some original methods of data analysis were used.

### Литература

1. Осипенко А.Н., Подобедов В.Н. *Управление разработкой социально-адаптированных контрмер: динамическая кластерно-регрессионная модель формирования доз внутреннего облучения жителей населенных пунктов*, Сб. статей научно-практической конф. «Медицинские последствия Чернобыльской катастрофы», Минск, 1997, 278–284.
2. Скрябин А.М., Осипенко А.Н., Мори М., Власова Н.Г., Подобедов В.Н. *Кластерно-регрессионная модель оценки дозы внутреннего облучения жителей сельских населенных пунктов*, В сб. «Чернобыльская катастрофа: профилактика, лечение и медико-психологическая реабилитация пострадавших», Минск, 1995, 33–37.
3. Осипенко А. Н., Стрибук П. Н. *Систематизация пострадавших в результате чернобыльской катастрофы сельскохозяйственных предприятий и выбор направлений их экономического развития*, Известия Академии аграрных наук РБ, № 2 (2001), 15–24.

Гомельский государственный  
университет им. Ф. Скорины

Поступило 12.04.04

РЕПОЗИТОРИЙ ГГУ ИМЕНИ Ф. СКОРИНЫ